

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08288272 A**(43) Date of publication of application: **01.11.96**

(51) Int. Cl.

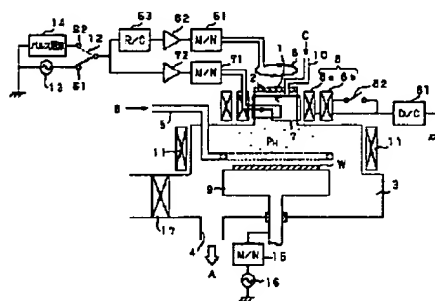
H01L 21/31**C23C 16/50****H01L 21/205****H05H 1/46**(21) Application number: **07092835**(71) Applicant: **SONY CORP**(22) Date of filing: **18.04.95**(72) Inventor: **KADOMURA SHINGO**(54) **HELICON PLASMA ENHANCED CVD**

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To perform CVD with high uniformity in plane for a wafer of large diameter, by freely controlling the dissociation state of a CVD material gas and the ion current density distribution in a chamber in a helicon plasma enhanced CVD system.

CONSTITUTION: A single-loop antenna 6 for $m=0$ mode plasma excitation which faces a top plate 2 of a plasma generation chamber 1, and a half-turn antenna 7 for $m=1$ mode plasma excitation which surrounds sidewall surfaces of the chamber, are provided. By operating a switch 12, a normal RF generator 13 or a pulse generator 14 is connected to the antennas 6 and 7. Outputs of the antennas are adjusted by driving amplifiers 62, 72, respectively, and simultaneous continuous generation or simultaneous intermittent generation of helicon plasma PH of two modes is carried out. Plasma transportation is controlled by a switch 82 connected to an outer solenoid coil 8b. Thus, an SiO_x interlayer insulation film can be satisfactorily embedded in a fine interconnection space.



NOTICES

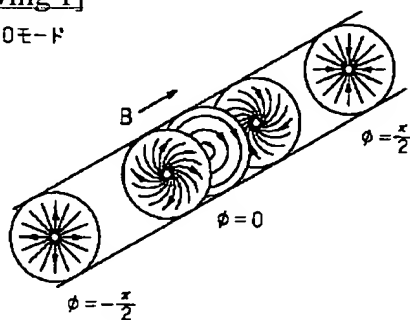
JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

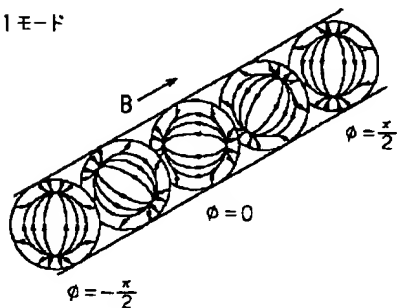
DRAWINGS

[Drawing 1]

(a) $m=0$ モード

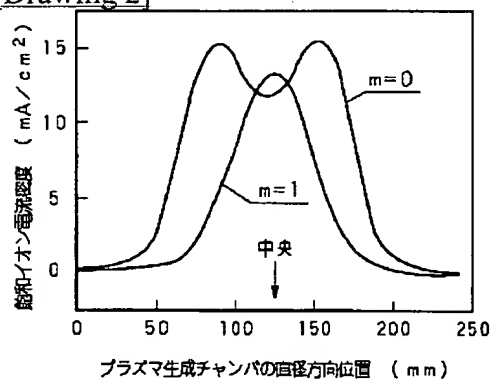


(b) $m=1$ モード



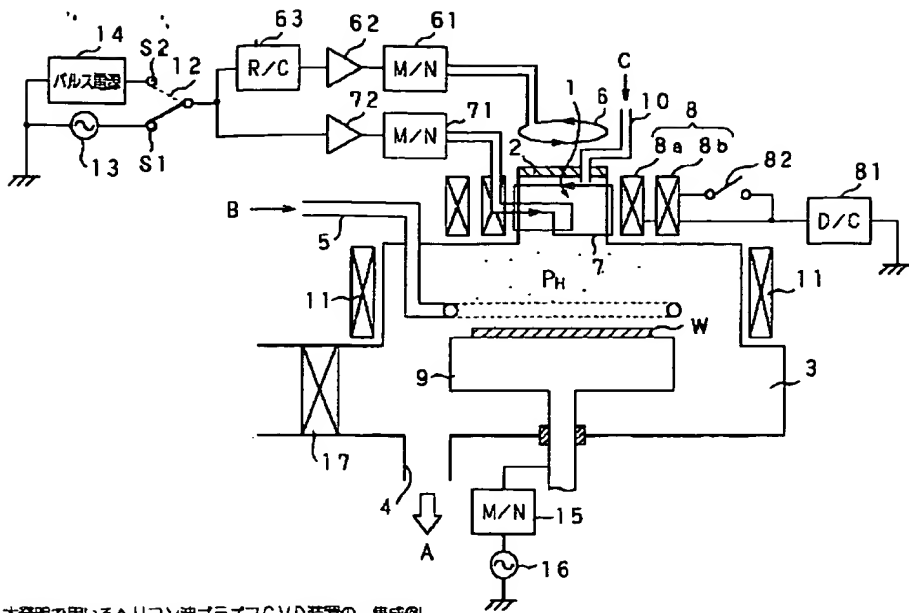
ヘリコン波プラズマの電界パターン

[Drawing 2]

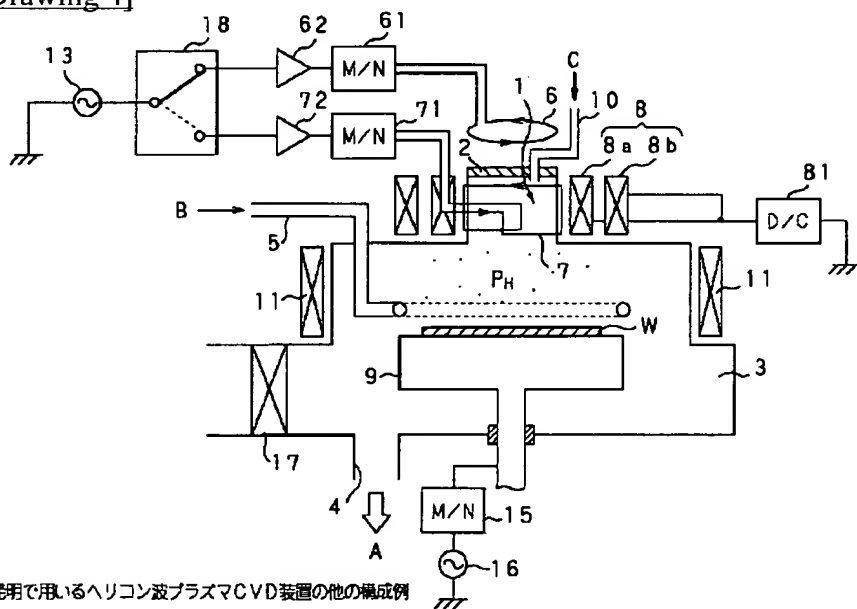


$m=0$ と $m=1$ モードヘリコン波プラズマの飽和イオン電流密度分布の比較

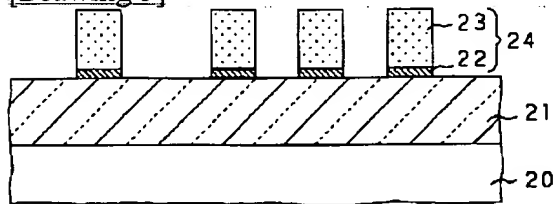
[Drawing 3]



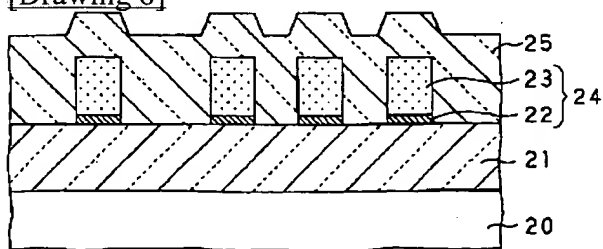
[Drawing 4]



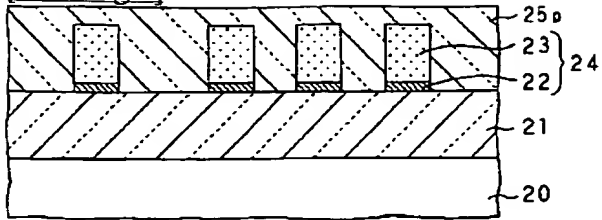
[Drawing 5]



[Drawing 6]

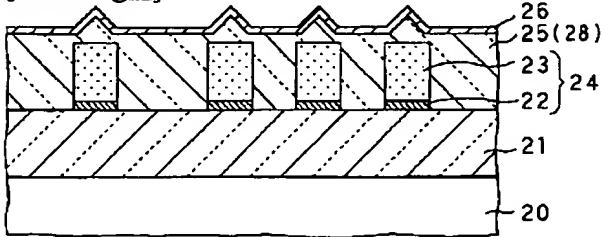


[Drawing 7]



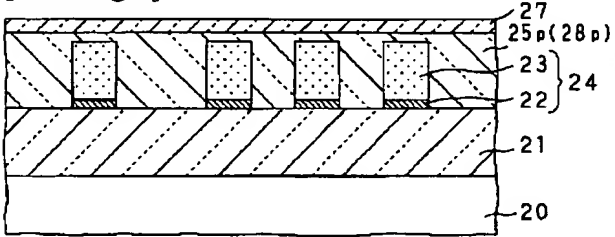
CMPによる平坦化

[Drawing 8]



第1のSiO₂層間絶縁膜(またはSiOF膜)と
第2のSiO₂層間絶縁膜の成膜

[Drawing 9]



CMPによる平坦化および第3のSiO₂層間絶縁膜の成膜

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the mimetic diagram showing the electric-field pattern of the helicon wave plasma in the $m=0$ mode and the $m=1$ mode.

[Drawing 2] It is the graph which shows the saturation ion current density distribution of the helicon wave plasma in the $m=0$ mode and the $m=1$ mode.

[Drawing 3] It is the typical sectional view showing the example of 1 configuration of the helicon wave plasma-CVD equipment in which coincidence continuation / intermittent excitation of the helicon wave plasma in the $m=0$ mode and the $m=1$ mode, and transportation control of the helicon wave plasma are possible.

[Drawing 4] It is the typical sectional view showing the example of 1 configuration of the helicon wave plasma-CVD equipment in which mutual excitation of the helicon wave plasma in the $m=0$ mode and the $m=1$ mode is possible.

[Drawing 5] In CVD of the SiOx interlayer insulation film which applied this invention, it is the typical sectional view showing the condition that aluminum system circuit pattern was formed on the substrate insulator layer.

[Drawing 6] The tooth space between wiring of drawing 5 is the typical sectional view showing the condition of having been embedded good with the 1st SiOx interlayer insulation film.

[Drawing 7] It is the typical sectional view showing the condition of having performed CMP and having ground evenly the front face of the 1st SiOx interlayer insulation film.

[Drawing 8] It is the typical sectional view showing the condition of having carried out the laminating of the 2nd SiOx interlayer insulation film on the 1st SiOx interlayer insulation film or the SiOF film.

[Drawing 9] It is the typical sectional view showing the condition of having performed CMP, having ground evenly the 1st SiOx interlayer insulation film or SiOF film of drawing 8, and having carried out the laminating of the 3rd SiOx interlayer insulation film on it.

[Description of Notations]

1 Plasma Production Chamber

3 Diffusion Chamber

5 2nd Gas Supply Line

6 Single Loop Antenna

7 Half Turn Antenna

8 Solenoid Coil

8a Inner circumference side solenoid coil

8b Periphery side solenoid coil

9 Wafer Stage

10 1st Gas Supply Line

12 Switch

13 RF Generator

14 Pulse Power Source

15, 61, 71 Matching network

16 RF Generator for Bias Impression

18 High-speed Switching Circuit

62 72 Drive amplifier

63 Relay Circuit

81 DC Power Supply

82 Switch

21 Substrate Insulator Layer

24 Aluminum System Circuit Pattern

25 1st SiO_x Interlayer Insulation Film
26 2nd SiO_x Interlayer Insulation Film
27 3rd SiO_x Interlayer Insulation Film
28 SiOF Film

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the approach of aiming at the improvement in the surface smoothness of an insulator layer and the improvement of membraneous quality on the substrate which has a high aspect ratio level difference, and multilayer-interconnection structure, changing the ion density distribution in a plasma production chamber free especially about the helicon wave plasma-CVD approach applied to the micro-processing fields, such as manufacture of a semiconductor device.

[0002]

[Description of the Prior Art] In high integration semiconductor devices, such as VLSI in recent years and ULSI, making millions of or more piece thing component accumulate on the chip of several mm angle is needed. However, it is already difficult to deal with this high integration by detailed-ization of a two-dimensional component. For this reason, three-dimensions-ization of device structure, such as applying a trench or adopting a multilayer interconnection, is advanced to the structured divisions, such as isolation, a capacitative element, and a transistor, and four or more layer thing multilayer-interconnection structure is also especially adopted with a logic system device. Inside such three-dimensions-structure, the aspect ratio of a trench or the tooth space between wiring is over at least 1. Then, the importance of the so-called global flattening which embeds these trenches and the tooth space between wiring with an interlayer insulation film at homogeneity, and carries out flattening of the front face over the whole surface of a substrate from a viewpoint which secures the dependability of a circuit pattern and the resolution of a photolithography is increasing increasingly. this global flattening -- design rule 0.25micrometer -- it is expected that it becomes an indispensable technique henceforth.

[0003] As main technique for realizing global flattening, the following are proposed conventionally.

(a) Membrane formation CMP of the interlayer insulation film by the (Etchback b) bias ECR plasma-CVD method of a spreading mold insulator layer (c) (chemical machinery polish)

The etchback of the spreading mold insulator layer of the above (a) is the technique of decreasing the thickness of this paint film extensively in anisotropic etching, after making a substrate front face apply and harden liquefied glass ingredients, such as SOG (spin-on glass).

[0004] The bias ECR plasma CVD of the above (b) is the technique of controlling substrate bias independently of the above-mentioned plasma production, and also aiming at the flattening effectiveness by ion spatter operation collectively while forming the film which is made to generate the ECR plasma which has a high ion current consistency under low gas pressure using ECR (electron cyclotron resonance), and is excellent in step coverage nature (step coverage). SiO_x formed by bias ECR plasma CVD Since the film has few dangling bonds of Si atom, it is known that the trap of moisture has precise membraneous quality with the low content of Si-OH radical or a Si-H radical few therefore.

[0005] Furthermore, CMP of the above (c) is the technique of attaining flattening by rotating the both sides of a surface plate and a substrate, supplying the alkaline slurry which the polished surface-ed of a substrate is contacted to the surface plate which stretched abrasive cloth, and contains a polish particle on abrasive cloth. This approach is already introduced into manufacture of the device corresponding to costs, such as CPU, from the high level of global flattening capacity of what needs know-how for optimization of conditions, such as selection of a slurry, and DRESS (adjustment of the surface roughness by grinding) of abrasive cloth, not a little.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, the conventional flattening technique mentioned above also has many technical problems which should be solved.

[0007] First, about the etchback of the spreading mold insulator layer of (a), it is inadequate absolutely just to perform spreading and etchback by a unit of 1 time for attaining practically sufficient display flatness, and a possibility of

causing the rise of the cost by the increase of a great process and homogeneous degradation by repeating etchback is large.

[0008] About the bias ECR plasma CVD of the above (b), organic silane system gas, such as TEOS (tetra-ethoxy silane), cannot be used as material gas. This is because the plasma consistency of the ECR plasma is very high, so a possibility of dissociation of the film formation precursor which should be contributed to a fluidity progressing too much, making a lot of carbon components remaining in the film, and degrading the membrane quality of the SiOx film is large. For this reason, although the inorganic (mono silane) silicon system compound gas of SiH₄ etc. must be used as material gas, the limitation is produced in improvement in flattening nature or an embedding property.

[0009] There is also a problem which originates in an equipment configuration theoretically in addition to this in bias ECR plasma CVD. That is, in an ECR plasma CVD system, since it is in the inclination which a plasma production room enlarges in order to raise the plasma homogeneity in the plasma source corresponding to the diameter wafer of macrostomia in recent years, and the emission field is drawing out the plasma from this plasma production room to the diffusion chamber, the diffusion chamber has also been enlarged inevitably. Therefore, the adhesion area of the deposit in the interior of a diffusion chamber also becomes so large, and is in the condition that a lot of particle always exists near the wafer. And since this diffusion chamber is in the location distant from the plasma source, the ion incidence to the chamber wall surface out of the plasma can also seldom be expected, especially there is little ion incidence to the side-attachment-wall side of a diffusion chamber. Therefore, even if it takes in plasma cleaning in a part of membrane formation cycle, the spatter removal device of the deposit on a wall surface cannot be used efficiently, but the result to which particle level gets worse is caused.

[0010] And since the $8.75 \times 10^{-2} \text{T}$ ($=875 \text{G}$) thing strong magnetic field is used in order to make the electron which rotates microwave with a frequency of 2.45GHz all over a magnetic field absorb in resonance, the magnetic field of $1 \times 10^{-2} \text{T}$ level exists also near the front face of a substrate. Ionic temperature rises by the diamagnetism drift and charge exchange which are produced for the existence of this magnetic field, the level velocity component of ion increases, and there is also a problem that an ion spatter operation ununiformity-izes in a wafer periphery.

[0011] CMP of the above (c) does not have a possibility of producing a plasma damage, either, although it is the technique of promising ** being carried out, it will be difficult to attain flattening by the CMP independent in fact, and it will be the requisite that the interlayer insulation film is formed on the preceding paragraph story to the last as evenly as possible. In the present condition, although put in practical use in combination with a bias ECR plasma-CVD method, since the above various problems are in a bias ECR plasma-CVD method, it is necessary to also consider combination with the new plasma source from now on.

[0012] Then, this invention aims at offering the CVD approach which can aim at the improvement in the surface smoothness of an insulator layer and the improvement of membrane quality on the substrate which has a high aspect ratio level difference, and multilayer-interconnection structure.

[0013]

[Means for Solving the Problem] The helicon wave plasma-CVD approach of this invention is proposed in order to attain the above-mentioned purpose, and it performs CVD to the substrate held in the diffusion chamber connected to this plasma production chamber using helicon wave plasma equipment equipped with two RF antennas which can be excited, respectively, and a field generation means in the helicon wave plasma in the $m=0$ mode, and the helicon wave plasma in the $m=1$ mode in a single plasma production chamber.

[0014] The helicon wave plasma is plasma which impress a magnetic field to a cylinder-like chamber and impress high frequency to the loop antenna further wound around this chamber, and accelerate this electron by making a helicon wave generate and conveying energy through the process of Landau damping to an electron from this helicon wave in this chamber, and this electron is made to collide with a gas molecule, and attains a high ionization rate. With helicon wave plasma equipment, the ion density (an ion current consistency $16 - 20 \text{ mA/cm}^2$) of $10^{11} - 10^{13} / \text{cm}^3$ can be about attained under the low voltage of a $10 - 4 \text{Pa}$ base.

[0015] And compared with the ECR (electron cyclotron resonance) discharge to which electronic heating is not carried out, it is advantageous only in the limited field in which there is a property that it can spread in comparatively large RF frequency domain between ion cyclotron frequency ω_{ci} and electronic cyclotron frequency ω_{ce} in a helicon wave in, and it is satisfied with this point of resonance conditions. Moreover, since a strong magnetic field is not needed for plasma production, the field near the substrate is also weak and the problem of the oblique incidence of the ion in a substrate periphery does not arise, either.

[0016] As an antenna for exciting the helicon wave plasma in the $m=0$ mode and the $m=1$ mode, some types are proposed from before. For example, the helicon wave plasma in the $m=0$ mode can be excited using the double loop antenna which made the plasma production chamber go around by two loop formations to which only a distance equal to the abbreviation one half of the wavelength of the helicon wave to spread besides the simplest single loop antenna is estranged, and the current of hard flow flows mutually. Moreover, the helicon wave plasma in the $m=1$ mode can

excite a plasma production chamber using the half turn antenna which goes around partially. However, in this invention, it is required not to become a failure spatially mutually for the sake of the convenience which installs two antennas near the single plasma production chamber. It is good to install a single loop antenna in the top-plate part of a plasma production chamber, and to install a half turn antenna in the side-attachment-wall section of a plasma production chamber as the 2nd antenna for exciting the helicon wave plasma in the $m=1$ mode as the 1st antenna for following, for example, exciting the helicon wave plasma in the $m=0$ mode.

[0017] Above CVD can also be performed supplying simultaneously intermittently, although you may carry out supplying high-frequency power to the two above-mentioned RF antennas simultaneously continuously. This coincidence intermittent impression is realizable using a pulse power source. As for the pulse generated according to this power source, that width of face is chosen as the order for 10 microseconds (microsecond). although the relaxation time of this of electron temperature is the order of ns (nanosecond) -- receiving -- the life of the plasma -- the order for dozens of microseconds, and a ***** -- using -- a plasma consistency -- abbreviation -- it is for making only electron temperature fluctuate periodically, maintaining uniformly. Since electron temperature is a parameter which determines the dissociative reaction of the material gas of CVD, and the sheath voltage on the front face of a substrate, it becomes controllable [advanced dissociation control or ion energy] according to the above pulse discharges.

[0018] furthermore, it is -- it is -- Above CVD may be performed, changing the electric power supply to the two above-mentioned RF antennas to a high speed. This high-speed change becomes possible by forming a high-speed switching means in an electric power supply network. When performing this change, the $m=0$ mode plasma and the $m=1$ mode plasma can be made to generate by turns, and the generation ratio of both plasma will be dependent on change timing.

[0019] In addition, when performing coincidence continuation impression of the high-frequency power to two RF antennas, or coincidence intermittent impression in this invention, if the phase adjustment means for shifting mutually the phase of the RF supplied to the above-mentioned electric power supply network at said the 1st antenna and 2nd antenna is established, it is much more suitable. This is for preventing resonance, when the frequency of the RF supplied to both antennas is equal. As this phase adjustment means, a relay circuit can be used typically. Moreover, it is the policy which was excellent also in including the output adjustment device for controlling independently the high-frequency power supplied to said the 1st antenna and 2nd antenna in this electric power supply means. As this output adjustment device, drive amplifier can be used typically.

[0020] Although the above is the plasma control by RF electric field, plasma control by the field may be performed by the helicon wave plasma-CVD approach of this invention. A thing including a field switching means to control supply/cutoff of the current over a solenoid coil and this solenoid coil as a field generation means of helicon wave plasma CVD used here can be used. With the helicon wave plasma equipment which is making the plasma production chamber go around with two solenoid coils, an inner circumference side and a periphery side, especially, as the solenoid coil by the side of inner circumference said that propagation of a helicon wave and the solenoid coil by the side of a periphery were used for transportation of the helicon wave plasma, for example, the roles of each coil may differ. In such a case, the current is always impressed, for example to the inner circumference side solenoid coil, and transportation of the helicon wave plasma from a plasma production chamber to a diffusion chamber can also be controlled by controlling supply/cutoff of the current to a periphery side solenoid coil. It enables this to change the consistency of the plasma which can be used near the substrate free.

[0021] Although the approach described above is related with the pattern of the most fundamental plasma control in this invention, if it takes into consideration that the important application of this invention is membrane formation of an insulator layer, in order to form the insulator layer which is excellent in both step coverage nature and membraneous quality (especially moisture resistance), it is also effective to form a membrane formation process into 2 processes. That is, it is possible to use properly the plasma control which divided into the 1st process which forms the 1st thin film which is excellent on said substrate at step coverage nature, and the 2nd process which forms the 2nd thin film which is excellent in moisture resistance, performed CVD, and was mentioned above among both processes.

[0022] Specifically by changing the power delivery late to said two RF antennas among both processes The generation ratio of the helicon wave plasma in the $m=0$ mode and the helicon wave plasma in the $m=1$ mode is changed, Or the thing performed extinguishing the field component which contributes to transportation of the helicon wave plasma to said diffusion chamber through control of said field generation means at said 1st process, and making this field component generate at said 2nd process, furthermore, it is -- it is -- said 1st process -- the electric power supply to said two RF antennas -- coincidence -- intermittent -- carrying out -- said 2nd process -- this electric power supply -- coincidence -- it can carry out continuously.

[0023] Here, as the 1st thin film which is excellent in step coverage nature, the silicon compound system thin film

formed using the material gas containing an organic silicon system compound is typical. The typical things of this material gas are O_2 / TEOS mixed gas, and H_2O /TEOS mixed gas, and a SiO_x system insulator layer is formed using these. Or since to lower a dielectric constant in order to ease increase of the capacity between wiring accompanying detailed-izing about an interlayer insulation film in recent years is desired, the silicon compound system thin film which contains a fluorine as the 1st thin film may be formed. this film -- fluorocarbon system gas and O_2 etc. -- an oxidizing quality is the $SiOF$ system insulator layer formed considering the mixed gas of SU as material gas. [for example,]

[0024] The silicon compound system thin film formed on the other hand using the material gas which contains a silane system compound as the 2nd insulator layer which is excellent in moisture resistance is typical. concrete -- silane system gas, such as SiH_4 (mono silane) and Si_2H_6 (disilane), and O_2 etc. -- it is the SiO_x system insulator layer formed using a oxidizing gas.

[0025]

[Function] In free space, in limited space like a plasma production chamber, only the specific mode is excited and a helicon wave turns into a wave equipped also with electrostatic nature which carries out a circularly-polarized wave in the direction of a right hand, although it is an electromagnetic wave purely. If it deduces from the linearization of the equation of a place, an electric-field pattern as shown in drawing 1 as the first 2 modes exists. Here, as for drawing of (a), the $m=0$ mode and drawing of (b) express the $m=1$ mode, and the value of m corresponds to the Bessel function which appears during the expression of electric-field magnification. The pattern currently displayed in the center supports [phase angle $\phi=\pi/2$, and a lower limit] to the phase angle $\phi=0$ among a series of patterns, and upper limit supports phase angle $\phi=-\pi/2$, respectively. From a completely electromagnetic condition [in / with the $m=0$ mode / in a wave / phase angle $=0$] to a phase angle $=\pi/2$ it shifts to the completely electrostatic condition in $\pi/2$ spatially. Among both conditions, electric field are spiral and have the property of both electromagnetic [a wave] and electrostatic. on the other hand -- the $m=1$ mode -- always -- electromagnetism -- it is mixing of a component and an electrostatic component and an electric-field pattern rotates clockwise simply with wave propagation.

[0026] It is known that the propagating mode of the above-mentioned helicon wave plasma will change in the winding format of the antenna in the outside of a plasma production chamber, and the saturation ion current density distribution in a plasma production chamber also changes with these modes. The situation of this change is shown in drawing 2 . An axis of abscissa expresses the location (mm) of the diameter direction of a plasma production chamber among drawing, and an axis of ordinate is a saturation ion current consistency (mA/cm²). It expresses. As shown in this drawing, in the $m=0$ mode, a saturation ion current consistency shows distribution which falls near the center of a chamber and becomes high around it. On the other hand, the $m=1$ mode shows the pattern which has a peak in the comparatively narrow range of the center of a chamber.

[0027] Since it is designed so that the helicon wave plasma in either mode of $m=0$ and $m=1$ may be excited, usual helicon wave plasma equipment is difficult for attaining a uniform ion current consistency covering the whole diameter direction of a chamber, also when which the mode is excited. Moreover, it is also impossible to change a saturation ion current consistency in the middle of CVD. However, since it is carried out to the ability of the helicon wave plasma equipment used for the helicon wave plasma-CVD approach of this invention to excite the helicon wave plasma in both mode of these in a single plasma production chamber by having two RF antennas, the ion current density distribution in a chamber becomes what has the character in both modes. That is, it becomes possible to compensate depression of the ion current consistency near [in the $m=0$ mode] the chamber center with the peak in the $m=1$ mode, and an ion current consistency can be equalized over the large range of the chamber diameter direction as a result.

[0028] Furthermore, if it will become controllable [electron temperature] if pulse impression of high-frequency power is performed, and the plasma in $m=0$ and the $m=1$ -car mode is excited by turns In condition of becoming controllable [ion / radical formation ratio], and becoming plasma excitation independently controllable [the plasma consistency near the substrate] if the magnetic field which contributes to transportation of the helicon wave plasma further again is controlled According to the contents of desired plasma treatment, the fine plasma is controllable.

[0029] If CVD is performed using such helicon wave plasma equipment, compared with the case where the conventional helicon wave plasma equipment which has excited only the helicon wave plasma in one of the modes at once is used, homogeneous reservation will become easy also to the wafer of the diameter of macrostomia. moreover, the insulator layer which was excellent in step coverage nature using the material gas which contains organic silicon system compounds, such as TEOS, first -- forming membranes -- a degree -- SiH_4 etc. -- like, also when [which was referred to as forming the insulator layer which was excellent in moisture resistance using the material gas containing an inorganic silicon system compound] CVD is formed into 2 processes, the merit of this invention appears notably. For example, although it is necessary to restrict dissociation of gas moderately at the process which makes the

material gas containing an organic silicon system compound discharge in order to form a fluid high membrane-formation precursor and to decrease the residual organic component in the film, in order to secure rate of sedimentation sufficient at the process which makes the material gas which contains an inorganic silicon system compound conversely discharge, it is necessary to promote dissociation of gas, and the optimal plasma conditions differ at each process. According to the helicon wave plasma-CVD approach that this invention was formed into 2 processes, since there are many control parameters about impression of the high-frequency power to a RF antenna or impression of a magnetic field, it is possible to deal also with the case where plasma control complicated in this way is required, easily.

[0030]

[Example] Hereafter, the concrete example of this invention is explained.

[0031] In example 1 this example, the helicon wave plasma-CVD equipment which can excite the helicon wave plasma in the $m=0$ mode and the $m=1$ mode is used, and it is $\text{SiH}_4 / \text{O}_2$. The detailed tooth space between wiring of aluminum system circuit pattern was embedded with the SiO_x interlayer insulation film formed by the gas system.

[0032] First, the notional configuration of the helicon wave plasma-CVD equipment used by this example is explained, referring to drawing 3. The plasma production section of this equipment It is the helicon wave plasma PH to the interior. As opposed to the plasma production chamber 1 which consists of dielectric materials for making it generate, the 1st gas supply line 10 inserted in from the top plate 2 of this plasma production chamber 1, and this top plate 2 On an outside, the plasma production chamber 1 is around gone to the pan of the single loop antenna 6 for $m=0$ mode launching formed in parallel, the half turn antenna 7 for $m=1$ mode launching which goes partially the side-attachment-wall side of the same plasma production chamber 1 around, and the above-mentioned half turn antenna 7. Let the solenoid coils 8 which make the field in alignment with the shaft orientations generate be the main components. The component of the above-mentioned plasma production chamber 1 was used as the quartz, and the diameter was set to 35cm.

[0033] Although loading of two above-mentioned RF antennas is the greatest special feature of this equipment, both [these] antennas are connected to the common electric power supply network. This electric power supply network includes two kinds of power sources, usual RF generator 13 and the high frequency pulse power source 14, and is made as [choose / with a switch 12 / either]. That is, if the terminal S1 of a switch 12 is chosen and usual RF generator 13 will choose a terminal S2 again, the RF pulse power source 14 will be connected to both antennas. Between the single loop antennas 6, the relay circuit (R/C) 63 as a phase adjustment means, the drive amplifier 62 as an output adjustment device, and the matching network (M/N) 61 for impedance adjustment are connected with the above-mentioned switch 12 in this order. Moreover, between the above-mentioned switch 12 and the half turn antenna 7, the matching network (M/N) 71 is connected with the drive amplifier 72 at this order.

[0034] The high-frequency power supplied to the two above-mentioned antennas using two drive amplifier 62 and 72 in this way is independently controllable by this equipment. This is equal to changing independently the height of the peak of two saturation ion current density distribution curves of above-mentioned drawing 2, and means that the optimal ion current density distribution can be set up according to the contents of the desired process.

[0035] In addition, since the above-mentioned relay circuit 63 aims at shifting mutually the phase of the RF supplied to the single loop antenna 6 and a half turn antenna, the illustrated example may be conversely connected to the half turn antenna 7 side. The phase shift by the relay circuit 63 is set as $\pi/2$.

[0036] The above-mentioned solenoid coil 8 is [inner circumference side solenoid coil 8a which is made into double structure and contributes mainly to propagation of a helicon wave, and] mainly the helicon wave plasma PH. It consists of periphery side solenoid coil 8b which contributes to transportation to a diffusion chamber 3. Although these solenoid coils 8a and 8b are connected to common DC power supply (D/C) 81, it is placed between the current paths which result in periphery side solenoid coil 8b by the switch 82, and is made as [control / by ON/OFF of this switch 82 / transportation of the helicon wave plasma PH].

[0037] A diffusion chamber 3 is connected to the above-mentioned plasma production chamber 1, the emission field which the above-mentioned solenoid coil 8 forms is met, and it is the helicon wave plasma PH to the interior of this diffusion chamber 3. It is made as [pull]. The side-attachment-wall side and base of a diffusion chamber 3 are constituted using conductive ingredients, such as stainless steel, and the high vacuum exhaust air of the interior is carried out in the direction of arrow-head A through the exhaust hole 4 by the exhaust system which is not illustrated. Moreover, from the head-lining section, the 2nd gas supply line 5 which has the diffuser of the shape of a ring which carries out opening near the wafer W is inserted in, supply of required gas is received in CVD in the direction of arrow-head B, and it connects with the load lock chamber which is not further illustrated through a gate valve 17 in the side-attachment-wall side.

[0038] In addition, this equipment is equipped with two gas supply means of the 1st gas supply line 10 and the 2nd gas supply line 5 as mentioned above. This is for making dissociation of the gas for making the helicon wave plasma

generate, and dissociation of the gas for supplying an actual deposition kind estrange as much as possible mutually, and reduction of particle contamination of the plasma production chamber 1 interior is achieved, a deposition kind being efficient and making it generate by this.

[0039] Furthermore, in order to complete the emission field in the about nine above-mentioned wafer stage and to control the electron in the plasma with a chamber wall, and disappearance of active species, the multipole magnet 11 is arranged in the exterior of the above-mentioned diffusion chamber 3 as an auxiliary field generation means. In a diffusion chamber 3, this multipole magnet 11 makes a multi-cusp field generate, and performs plasma confinement. In addition, the arrangement location of this multipole magnet 11 may not be restricted to the example illustrated, for example, may be other locations, such as a perimeter of the stanchion of the wafer stage 9. furthermore, it is -- it is -- this is transposed to a solenoid coil and formation of a mirror magnetic field may be made to perform plasma confinement.

[0040] The conductive wafer stage 9 electrically insulated from that wall surface is held in the interior of the above-mentioned diffusion chamber 3, and it is made as [perform / hold for example, the wafer W as a processed substrate, and / on this, / predetermined plasma treatment (here CVD)]. In order to control the energy of the ion which carries out incidence out of the plasma, RF generator 16 for bias impression which impresses substrate bias is connected to Wafer W through the 2nd matching network (M/N) 15 on this wafer stage 9. Here, the frequency of RF generator 16 for bias impression was set to 13.56MHz.

[0041] Next, CVD of a SiOx interlayer insulation film was actually performed using above equipment. The sample wafer used by this example is shown in drawing 5. In this wafer, the laminating of the substrate insulator layer 21 which consists of SiOx is carried out on the Si substrate 20, and aluminum system circuit pattern 24 is further formed with irregular spacing partially on this. For example, on the barrier metal 22 which consists of a cascade screen of Ti/TiN, the aluminum-1%Si film 23 carries out patterning of the multilayers by which the laminating was carried out, and the above-mentioned aluminum system circuit pattern 24 is formed. This patterning is realized by specifically performing KrF excimer laser lithography using a halftone mold phase shift mask and a chemistry multiplier system REJITOSUTO ingredient, and performing anisotropy dry etching by using as a mask the resist pattern formed by this. The minimum value of the above-mentioned aluminum system circuit pattern 24 and the tooth space between wiring is 0.25 micrometers. Moreover, the maximum ASUPETO ratio of the tooth space between wiring is about 2.

[0042] While setting this wafer on the above-mentioned wafer stage 9, choosing the terminal S1 of a switch 12 and connecting usual RF generator 13 to two high frequency antennas in common, a switch 82 is set to ON, and it is the helicon wave plasma PH. Transportation was made into the condition of always being carried out. Here, the SiOx interlayer insulation film was formed on condition that the following as an example.

[0043]

O2 Flow rate (the 1st gas supply line 10) 50 SCCM SiH4 Flow rate (the 2nd gas supply line 5) 50 SCCM Gas pressure 0.13 Pa Single loop antenna supply voltage 2500 W (13.56 MHz)

Half turn antenna supply voltage 2500 W (13.56 MHz)

High frequency bias power 100 W (13.56 MHz)

By this CVD, as shown in drawing 6, the uneven tooth space between wiring was also able to be embedded good with the SiOx interlayer insulation film 25. The thickness homogeneity at this time was extremely excellent with **2% about the wafer of the diameter of 8 inch.

[0044] Then, the front face of the above-mentioned SiOx interlayer insulation film 25 was ground by the well-known CMP method, and SiOx interlayer insulation film 25p (it expresses that Subscript p is the ground film.) by which flattening was carried out as shown in drawing 7 was obtained.

[0045] In example 2 this example, the helicon wave plasma-CVD equipment mentioned above in the example 1 is used. Connect the RF pulse power source 14 at the 1st process first, and coincidence intermittent generation of the m=0 mode plasma and the m=1 mode plasma is carried out. And after forming the 1st SiOx interlayer insulation film which is excellent in step coverage nature, controlling transportation of the helicon wave plasma, The 2nd SiOx interlayer insulation film which is excellent in moisture resistance was formed having carried out coincidence continuation generation of both the plasma using RF generator 13 usual at the 2nd process, and also performing plasma transportation as usual.

[0046] That is, first, at the membrane formation process of the 1st SiOx interlayer insulation film, it set in the helicon wave plasma equipment which stated the sample wafer shown in above-mentioned drawing 5 in the example 1, the terminal S2 of a switch 12 was chosen, and the RF pulse power source 14 was connected to the single loop antenna 6 and the half turn antenna 7. Moreover, it sets to OFF and the switch 82 connected to a periphery side solenoid coil is helicon wave PURAZU PH to a diffusion chamber 3. It considered as the condition of having controlled transportation. An example of the CVD conditions of this 1st process is shown below.

[0047]

[The 1st process]

O₂ Flow rate (the 1st gas supply line 10) 50 SCCM TEOS flow rate (the 2nd gas supply line 5) 20 SCCM H₂O Flow rate (the 2nd gas supply line 5) 50 SCCM Gas pressure 0.13 Pa Single loop antenna supply voltage 2000 W (13.56 MHz)

Half turn antenna supply voltage 1000 W (13.56 MHz)

High frequency switching period 30 μ s High frequency bias power 100 W (13.56 MHz)

A plasma consistency is 1010-/cm³ by factors, such as having made intermittent the electric power supply to a RF antenna at the 1st process of the above, having held down the absolute value of the supply voltage to an antenna low, and having controlled the transportation by the side of the diffusion chamber 3 of the helicon wave plasma. It was stopped on the base, as a result, dissociation of TEOS was controlled moderately, and the fluid high membrane formation precursor was formed in the wafer front face. Furthermore, when the ion spatter operation by impression of high frequency bias power worked, the 1st SiO_x interlayer insulation film 25 which was excellent in step coverage nature as shown in drawing 8 was able to be formed.

[0048] While enabling continuation impression of high-frequency power by choosing the terminal S1 of a switch 12 and connecting usual RF generator 13 to both antennas at the 2nd following process, a switch 82 is set to ON, and it is the helicon wave plasma PH to a diffusion chamber 3. The 2nd SiO_x interlayer insulation film was formed by making transportation into a possible condition. An example of the CVD conditions of the 2nd process is shown below.

[0049]

[The 2nd process]

O₂ Flow rate (the 1st gas supply line 10) 50 SCCM SiH₄ Flow rate (the 2nd gas supply line 5) 20 SCCM Gas pressure 0.13 Pa Single loop antenna supply voltage 2500 W (13.56 MHz)

Half turn antenna supply voltage 2500 W (13.56 MHz)

High frequency bias power 100 W (13.56 MHz)

At the 2nd process of the above, since the resultant leading to damp-proof degradation did not carry out a byproduction, as shown in drawing 8, it was precise and the 2nd SiO_x interlayer insulation film 27 which is excellent in moisture resistance was able to be formed.

[0050] It is said that a problem is generally in membranous quality while the SiO_x film formed using organic silicon system compound gas, such as TEOS, is excellent in a flattening property or an embedding property. Namely, although the moisture and unreacted Si-OH radical which are generated as a by-product of a CVD reaction are incorporated in large quantities in the SiO_x film formed by this approach depending on membrane formation conditions If such SiO_x film is used as an interlayer insulation film of a semiconductor device, it is known that it will be easy to generate various defects, such as a hillock to defective continuity (poison DOBIA) and aluminum system wiring film, generating of a void, and fluctuation of the threshold of MOS-FET, degradation of hot carrier resistance.

[0051] Although the above problems were solved by making an interlayer insulation film two-layer at this example, the membranous quality of 1st SiO_x interlayer insulation film 25 itself has also been improved by dissociation control of TEOS, and the very reliable interlayer insulation film was able to be obtained.

[0052] Then, it ground to the condition that 1st flat SiO_x interlayer insulation film 25p appears all over a base by the well-known CMP method as shown in drawing 9. Furthermore, the 3rd SiO_x interlayer insulation film 27 was anew formed on the same conditions as the 2nd process of the above, and, finally step coverage nature, surface smoothness, and the interlayer insulation film that is excellent in damp-proof all were obtained.

[0053] By example 3 this example, although it is similar with an example 2, the process which replaces with the 1st SiO_x interlayer insulation film 25, and forms the SiOF film with a low dielectric constant is explained. At the 1st process, coincidence intermittent generation of the m=0 mode plasma and the m=1 mode plasma and transportation control of the helicon wave plasma were performed. An example of the CVD conditions of this 1st process is shown below.

[0054]

[The 1st process]

C₂F₆ 50 SCCM gas pressure Flow rate (the 1st gas supply line 10) 20 SCCM O₂ Flow rate (the 1st gas supply line 10) 50 SCCM TEOS flow rate (the 2nd gas supply line 5) 20 SCCM H₂O Flow rate (the 2nd gas supply line 5) 0.13 Pa single loop antenna supply-voltage 2000 W (13.56 MHz)

Half turn antenna supply voltage 1000 W (13.56 MHz)

High frequency switching period 30 μ s High frequency bias power 100 W (13.56 MHz)

At this 1st process, the fluid high membrane formation precursor was formed in the wafer front face, and the SiOF film 28 as shown in drawing 8 was formed. When this SiOF film 28 incorporates in the film F which carried out dissociation generation from C₂F₆, low dielectric constant-ization is attained compared with the 1st above-mentioned SiO_x interlayer insulation film 25.

[0055] However, since such a low dielectric constant insulator layer was generally inferior to moisture resistance, the 2nd process continuously mentioned above in the example 2 was carried out, and the SiOx interlayer insulation film 26 of ** the 2nd which is precise and is excellent in membrane quality as shown in drawing 8 was formed. Of course, next CMP and the 3rd SiOx interlayer insulation film 27 are performed similarly, and moisture resistance may be raised while carrying out flattening of the base front face completely, as shown in drawing 9.

[0056] Although it was the CVD approach performed while all the examples of the example 4 former excite the helicon wave plasma in the $m=0$ mode and the $m=1$ mode to coincidence by performing coincidence supply of the high-frequency power to two RF antennas, this example explains the CVD approach performed while changing the electric power supply to the single loop antenna 6 and the half turn antenna 7 to a high speed (i.e., while changing the helicon wave plasma in both the modes to a high speed).

[0057] First, the helicon wave plasma-CVD equipment used by this example is explained, referring to drawing 4. Unlike the equipment shown in drawing 3 of the above [this equipment], the relay circuit 63 for phase adjustment is not connected to the electric power supply network to the single loop antenna 6, instead the high-speed switching circuit 18 is connected to the latter part of usual RF generator 13. This high-speed switching circuit 18 can be switched with the period of the order of a number - 10 microseconds of numbers, and plasma excitation can change that mode between $m=0$ and $m=1$, making it continue, and, thereby, can equalize the ion current density distribution of the direction of the diameter of a chamber.

[0058] The sample wafer shown in this helicon wave plasma equipment at above-mentioned drawing 5 was set, and the SiOx interlayer insulation film 25 was formed on condition that the following as an example.

[0059]

O2 Flow rate (the 1st gas supply line 10) 50 SCCM TEOS flow rate (the 2nd gas supply line 5) 20 SCCM H2O Flow rate (the 2nd gas supply line 5) 50 SCCM Gas pressure 0.13 Pa Single loop antenna supply voltage 2500 W (13.56 MHz)

Half turn antenna supply voltage 2500 W (13.56 MHz)

High frequency switching period 15 μ s High frequency bias power 100 W (13.56 MHz)

By changing the helicon wave plasma in the $m=0$ mode and the $m=1$ mode to a high speed, and controlling the dissociation condition of TEOS by this example the optimal, it excelled in step coverage nature, and the SiOx interlayer insulation film 25 of good membrane quality was able to be formed.

[0060] In addition, although transportation of the helicon wave plasma was controlled by this example by connecting a switch 82 to periphery side solenoid coil 8b, and performing the ON/OFF control, if a switch is connected to inner circumference side solenoid coil 8a, generation/disappearance of the helicon wave plasma itself are controllable. However, if high-frequency power is supplied to at least one side of two RF antennas in this case, since RF electric field exist, in a plasma production chamber, inductively coupled plasma will generate it. That is, plasma control which changes generation of inductively coupled plasma and the helicon wave plasma by turns is realized. Generally inductively coupled plasma is rich in a radical, and since the helicon wave plasma is plasma which is generally rich in ion, it becomes possible [controlling a radical / ion generation ratio by mutual excitation of both plasma finely]. It is also possible to optimize the balance of efficient generation of a required deposition kind and proper flattening by ion by optimization of this control.

[0061] As mentioned above, although this invention was explained based on the example of four examples, this invention is not limited to these examples at all, suitably, it can change and the details of the configuration of a sample wafer and the configuration of helicon wave plasma equipment and CVD conditions can be optimized.

[0062]

[Effect of the Invention] Since CVD will be performed using the helicon wave plasma equipment which can tune the plasma density distribution of the direction of the diameter of a chamber, and the dissociation condition of material gas finely if this invention is applied so that clearly also from the above explanation, the insulator layer which is excellent in the homogeneity within a field and membrane quality can be formed optimizing deposition conditions finely according to the contents of CVD. Therefore, this invention contributes to high integration of a semiconductor device, high-performance-izing, and high reliance-ization greatly.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The helicon wave plasma-CVD approach of performing CVD to the substrate held in the diffusion chamber connected to this plasma production chamber using helicon wave plasma equipment equipped with two RF antennas which can be excited, respectively, and a field generation means in the helicon wave plasma in the $m=0$ mode, and the helicon wave plasma in the $m=1$ mode in a single plasma production chamber.

[Claim 2] Said CVD is the helicon wave plasma-CVD approach according to claim 1 performed while exciting simultaneously continuously the helicon wave plasma in the $m=0$ mode, and the helicon wave plasma in the $m=1$ mode by supplying high-frequency power to the two above-mentioned RF antennas simultaneously continuously.

[Claim 3] Said CVD is the helicon wave plasma-CVD approach according to claim 1 performed while exciting simultaneously intermittently the helicon wave plasma in the $m=0$ mode, and the helicon wave plasma in the $m=1$ mode by supplying power to the two above-mentioned RF antennas simultaneously intermittently.

[Claim 4] Said CVD is the helicon wave plasma-CVD approach according to claim 1 performed while exciting the helicon wave plasma in the $m=0$ mode, and the helicon wave plasma in the $m=1$ mode by turns by changing the electric power supply to the two above-mentioned RF antennas to a high speed.

[Claim 5] Said CVD is the helicon wave plasma-CVD approach according to claim 1 performed while changing generation/disappearance of the field component which contributes to transportation of the helicon wave plasma to said diffusion chamber through control of said field generation means.

[Claim 6] Said CVD is the helicon wave plasma-CVD approach according to claim 1 of changing the generation ratio of the helicon wave plasma in the $m=0$ mode, and the helicon wave plasma in the $m=1$ mode, by carrying out by dividing into the 1st process which forms the 1st thin film which is excellent on said substrate at step coverage nature, and the 2nd process which forms the 2nd thin film which is excellent in moisture resistance, and changing the power delivery rate to said two RF antennas among both processes.

[Claim 7] Said CVD is the helicon wave plasma-CVD approach according to claim 1 which divides into the 1st process which forms the 1st thin film which is excellent in step-coverage nature on said substrate, and the 2nd process which forms the 2nd thin film which is excellent in moisture resistance, performs, and performs while extinguish the field component which contributes to transportation of the helicon wave plasma to said diffusion chamber through control of said field generation means at said 1st process and making this field component generate at said 2nd process.

[Claim 8] Said CVD is the helicon wave plasma-CVD approach according to claim 1 of carrying out by dividing into the process which forms the 1st thin film which is excellent on said substrate at step coverage nature, and the process which forms the 2nd thin film which is excellent in moisture resistance, performing simultaneously intermittently the electric power supply to said two RF antennas at said 1st process, and performing this electric power supply on a coincidence continuation target at said 2nd process.

[Claim 9] The helicon wave plasma-CVD approach according to claim 6 which is the silicon compound system thin film with which said 1st thin film is formed using the material gas containing an organic silicon system compound.

[Claim 10] The helicon wave plasma-CVD approach according to claim 6 which is the silicon compound system thin film with which said 1st insulator layer contains a fluorine.

[Claim 11] The helicon wave plasma-CVD approach according to claim 6 which is the silicon compound system thin film with which said 2nd thin film is formed using the material gas containing a silane system compound.

[Translation done.]

JP08288272

Publication Title:

No title available

Abstract:

Abstract not available for JP08288272

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

| (51) Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|---------------------------|------|---------|----------------|--------|
| H 0 1 L 21/31 | | | H 0 1 L 21/31 | C |
| C 2 3 C 16/50 | | | C 2 3 C 16/50 | |
| H 0 1 L 21/205 | | | H 0 1 L 21/205 | |
| H 0 5 H 1/46 | | 9216-2G | H 0 5 H 1/46 | B |

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平7-92835

(22) 出願日 平成7年(1995)4月18日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 門村 新吾

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(74) 代理人 弁理士 小池 晃 (外2名)

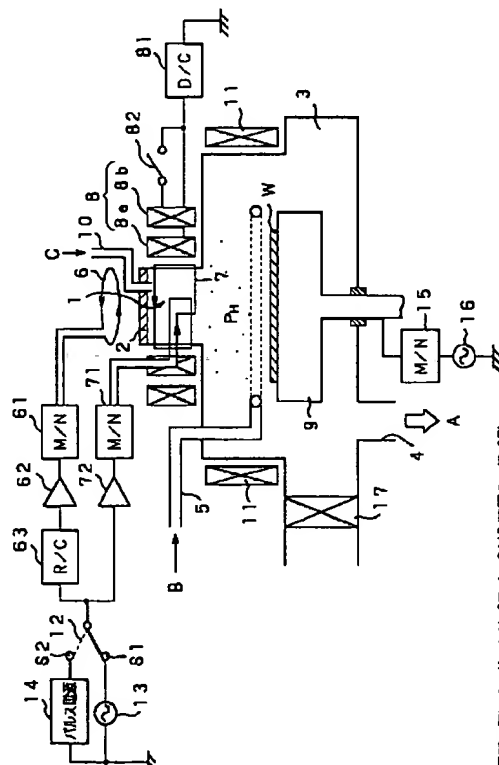
(54) 【発明の名称】 ヘリコン波プラズマCVD方法

(57) 【要約】

【目的】 ヘリコン波プラズマ装置におけるCVD原料ガスの解離状態やチャンバ内イオン電流密度分布を自在に制御し、大口径ウェハに対しても面内均一性の高いCVDを行う。

【構成】 プラズマ生成チャンバ1の天板2に対向するm=0モード・プラズマ励起用のシングルループ・アンテナ6と、該チャンバの側壁面を周回するm=1モード・プラズマ励起用のハーフターン・アンテナ7を設け、スイッチ12の操作でこれら両アンテナ6, 7に通常の高周波電源13またはパルス電源14のいずれかを接続し、駆動アンプ62, 72によりそれぞれの出力を調整しながら2つのモードのヘリコン波プラズマPの同時連続生成または同時欠生成を行う。プラズマ輸送は外周側ソレノイド・コイル8bに接続されるスイッチ82で制御する。

【効果】 微細な配線間スペースもSiO_x層間絶縁膜で良好に埋め込み可能である。



発明で用いるヘリコン波プラズマCVD装置の一実施例

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 単一のプラズマ生成チャンバ内に $m=0$ モードのヘリコン波プラズマと $m=1$ モードのヘリコン波プラズマとをそれぞれ励起可能な2系統の高周波アンテナと、磁界生成手段とを備えたヘリコン波プラズマ装置を用い、該プラズマ生成チャンバに接続される拡散チャンバ内に収容された基板に対してCVDを行うヘリコン波プラズマCVD方法。

【請求項2】 前記CVDは、上記2系統の高周波アンテナに同時連続的に高周波電力を供給することにより、 $m=0$ モードのヘリコン波プラズマと $m=1$ モードのヘリコン波プラズマとを同時連続的に励起しながら行う請求項1記載のヘリコン波プラズマCVD方法。

【請求項3】 前記CVDは、上記2系統の高周波アンテナに同時間欠的に電力を供給することにより、 $m=0$ モードのヘリコン波プラズマと $m=1$ モードのヘリコン波プラズマとを同時間欠的に励起しながら行う請求項1記載のヘリコン波プラズマCVD方法。

【請求項4】 前記CVDは、上記2系統の高周波アンテナへの電力供給を高速に切り替えることにより、 $m=0$ モードのヘリコン波プラズマと $m=1$ モードのヘリコン波プラズマを交互に励起させながら行う請求項1記載のヘリコン波プラズマCVD方法。

【請求項5】 前記CVDは、前記拡散チャンバへのヘリコン波プラズマの輸送に寄与する磁界成分の生成/消滅を前記磁界生成手段の制御を通じて切り替えながら行う請求項1記載のヘリコン波プラズマCVD方法。

【請求項6】 前記CVDは、前記基板上に段差被覆性に優れる第1の薄膜を成膜する第1工程と、耐湿性に優れる第2の薄膜を成膜する第2工程とに分けて行い、両工程間で前記2系統の高周波アンテナへの電力供給比を変化させることにより、 $m=0$ モードのヘリコン波プラズマと $m=1$ モードのヘリコン波プラズマの生成比を変化させる請求項1記載のヘリコン波プラズマCVD方法。

【請求項7】 前記CVDは、前記基板上に段差被覆性に優れる第1の薄膜を成膜する第1工程と、耐湿性に優れる第2の薄膜を成膜する第2工程とに分けて行い、前記第1工程では前記磁界生成手段の制御を通じて前記拡散チャンバへのヘリコン波プラズマの輸送に寄与する磁界成分を消滅させ、前記第2工程では該磁界成分を生成させながら行う請求項1記載のヘリコン波プラズマCVD方法。

【請求項8】 前記CVDは、前記基板上に段差被覆性に優れる第1の薄膜を成膜する工程と、耐湿性に優れる第2の薄膜を成膜する工程とに分けて行い、前記第1工程では前記2系統の高周波アンテナへの電力供給を同時間欠的に行い、前記第2工程では該電力供給を同時連続的に行う請求項1記載のヘリコン波プラズマCVD方法。

2

【請求項9】 前記第1の薄膜が有機シリコン系化合物を含む原料ガスを用いて成膜されるシリコン化合物系薄膜である請求項6記載のヘリコン波プラズマCVD方法。

【請求項10】 前記第1の絶縁膜がフッ素を含有するシリコン化合物系薄膜である請求項6記載のヘリコン波プラズマCVD方法。

【請求項11】 前記第2の薄膜がシラン系化合物を含む原料ガスを用いて成膜されるシリコン化合物系薄膜である請求項6記載のヘリコン波プラズマCVD方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体装置の製造等の微細加工分野に適用されるヘリコン波プラズマCVD方法に関し、特にプラズマ生成チャンバ内のイオン密度分布を自在に変化させながら、高アスペクト比段差を有する基板上や多層配線構造上における絶縁膜の平坦性の向上と膜質の改善を図る方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年のVLSI、ULSI等の高集積化半導体デバイスにおいては、数mm角のチップ上に数百万個以上もの素子を集積させることが必要とされる。しかし、かかる高集積化に二次元的な素子の微細化で対応することはもはや困難である。このため、素子分離、容量素子、トランジスタ等の構造部ヘトレンチを応用したり、あるいは多層配線を採用する等、デバイス構造の三次元化が進められており、特にロジック系デバイスでは4層以上もの多層配線構造も採用されるようになっている。このような三次元的構造の内部では、トレンチや配線間スペースのアスペクト比が優に1を超えている。そこで、配線パターンの信頼性やフォトリソグラフィの解像度を確保する観点から、これらトレンチや配線間スペースを層間絶縁膜で均一に埋め込み、その表面を基板の全面にわたって平坦化する、いわゆるグローバル平坦化の重要性が益々増大している。このグローバル平坦化は、デザイン・ルール0.25 μ m以降においては必須の技術となるものとみられている。

【0003】グローバル平坦化を実現するための主な手法として、従来より次のものが提案されている。

(a) 塗布型絶縁膜のエッチバック

(b) バイアスECRプラズマCVD法による層間絶縁膜の成膜

(c) CMP (化学機械研磨)

上記(a)の塗布型絶縁膜のエッチバックとは、基板表面にSOG (スピン・オン・ガラス)等の液状ガラス材料を塗布して硬化させた後、この塗膜の膜厚を異方性エッチングにて全面的に減少させる手法である。

【0004】上記(b)のバイアスECRプラズマCVDとは、ECR (電子サイクロトロン共鳴)を利用して低ガス圧下で高いイオン電流密度を有するECRプラズ

マを生成させて段差被覆性（ステップ・カバレッジ）に優れた膜を成膜すると共に、上記プラズマ生成とは独立に基板バイアスを制御してイオン・スパッタ作用による平坦化効果も併せて狙う手法である。バイアスECRプラズマCVDにより成膜された SiO_x 膜は、 Si 原子のダングリングボンドが少ないために水分のトラップが少なく、したがって $\text{Si}-\text{OH}$ 基や $\text{Si}-\text{H}$ 基の含有量の低い緻密な膜質を持つことが知られている。

【0005】さらに、上記(c)のCMPとは、研磨布を張着した定盤に基板の被研磨面を接触させ、研磨微粒子を含有するアルカリ性のスラリーを研磨布上に供給しながら定盤と基板の双方を回転させることにより平坦化を達成する手法である。この方法は、スラリーの選択や研磨布のドレス（研削による表面粗度の調整）等、条件の最適化に少なからずノウハウを必要とするものの、グローバル平坦化能力の高さから、CPU等のようなコストに見合うデバイスの製造にすでに導入されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来の平坦化技術には、解決すべき課題も多い。

【0007】まず、(a)の塗布型絶縁膜のエッチバックについては、実用上十分な平坦度を達成するには塗布とエッチバックを1回ずつ行うのみでは到底不十分であり、多大な工程増によるコストの上昇や、エッチバックを繰り返すことによる均一性の劣化を招く虞れが大きい。

【0008】上記(b)のバイアスECRプラズマCVDについては、原料ガスとしてTEOS（テトラエトキシシラン）等の有機シラン系ガスを用いることができない。これは、ECRプラズマのプラズマ密度が極めて高いために、流動性に寄与するはずの膜形成前駆体の解離が進み過ぎてしまい、多量の炭素成分を膜中に残存させて SiO_x 膜の膜質を劣化させる虞れが大きいからである。このため、原料ガスとして SiH_4 （モノシラン）等の無機シリコン系化合物ガスを用いざるを得ないが、平坦化性や埋め込み特性の向上に限界を生じている。

【0009】バイアスECRプラズマCVDにはこの他、装置構成に原理的に起因する問題もある。すなわち、ECRプラズマCVD装置においては、近年の大口徑ウェハに対応してプラズマ・ソース内のプラズマ均一性を向上させるためにプラズマ生成室が大型化する傾向にあり、またこのプラズマ生成室から発散磁界によって拡散チャンバへプラズマを引き出しているため、拡散チャンバも必然的に大型化している。したがって、拡散チャンバ内部における堆積物の付着面積もそれだけ大きくなり、ウェハ近傍に常に大量のパーティクルが存在する状態となっている。しかも、この拡散チャンバはプラズマ・ソースから離れた位置にあるため、プラズマ中からチャンバ壁面へのイオン入射も余り期待できず、特に拡散チャンバの側壁面へのイオン入射は少ない。したがっ

て、たとえ成膜サイクルの一部にプラズマ・クリーニングを採り入れたとしても、壁面上の堆積物のスパッタ除去機構を効率良く働かせることができず、パーティクル・レベルが悪化する結果を招いている。

【0010】しかも、周波数2.45GHzのマイクロ波を磁場中で回転する電子に共鳴的に吸収させるために $8.75 \times 10^{-2} \text{ T}$ （ $=875 \text{ G}$ ）もの強磁場を用いているため、基板の表面近傍にも $1 \times 10^{-2} \text{ T}$ レベルの磁場が存在する。この磁場の存在のために生ずる反磁性ドリフトや荷電交換でイオン温度が上昇し、イオンの水平速度成分が増え、ウェハ周辺部においてイオン・スパッタ作用が不均一化するという問題もある。

【0011】上記(c)のCMPは、プラズマ・ダメージを生ずる虞れもなく、有望視されている手法であるが、CMP単独で平坦化を達成することは実際には困難であり、あくまでもその前段階で層間絶縁膜ができるだけ平坦に形成されていることが前提となる。現状では、バイアスECRプラズマCVD法との組み合わせで実用化されているが、バイアスECRプラズマCVD法に前述のような種々の問題があるために、今後は新しいプラズマ・ソースとの組み合わせも考えてゆく必要がある。

【0012】そこで本発明は、高アスペクト比段差を有する基板上や多層配線構造上における絶縁膜の平坦性の向上と膜質の改善を図ることが可能なCVD方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明のヘリコン波プラズマCVD方法は、上述の目的を達成するために提案されるものであり、単一のプラズマ生成チャンバ内に $m=0$ モードのヘリコン波プラズマと $m=1$ モードのヘリコン波プラズマとをそれぞれ励起可能な2系統の高周波アンテナと、磁界生成手段とを備えたヘリコン波プラズマ装置を用い、該プラズマ生成チャンバに接続される拡散チャンバ内に収容された基板に対してCVDを行うものである。

【0014】ヘリコン波プラズマは、円筒状のチャンバに磁場を印加し、さらにこのチャンバに巻回されるループ・アンテナに高周波を印加して該チャンバ内にヘリコン波を生成させ、このヘリコン波からランダウ減衰の過程を通じて電子へエネルギーを輸送することにより該電子を加速し、この電子をガス分子に衝突させて高いイオン化率を達成するプラズマである。ヘリコン波プラズマ装置では、 10^{-4} Pa 台の低圧下でおおよそ $10^{11} \sim 10^{13} / \text{cm}^3$ のイオン密度（イオン電流密度では $16 \sim 20 \text{ mA/cm}^2$ ）を達成することができる。

【0015】しかもヘリコン波には、イオン・サイクロトロン周波数 ω_{ci} と電子サイクロトロン周波数 ω_{ce} の間の比較的広いRF周波数領域で伝搬できるという特性があり、この点で共鳴条件が満足される限られた領域内でしか電子加熱が行われないECR（電子サイクロトロン

共鳴)放電に比べて有利である。また、プラズマ生成に強磁場を必要としないため、基板近傍の磁界も弱く、基板周辺部におけるイオンの斜め入射の問題も起こらない。

【0016】 $m=0$ モードおよび $m=1$ モードのヘリコン波プラズマを励起させるためのアンテナとしては、従来より幾つかのタイプが提案されている。たとえば、 $m=0$ モードのヘリコン波プラズマは、最も単純なシングルループ・アンテナの他、伝搬するヘリコン波の波長の約半分に等しい距離だけ離間され互いに逆方向の電流が流れる2つのループでプラズマ生成チャンバを周回させたダブルループ・アンテナを用いて励起することができる。また、 $m=1$ モードのヘリコン波プラズマは、プラズマ生成チャンバを部分的に周回するハーフターン・アンテナを用いて励起することができる。ただし、本発明では単一のプラズマ生成チャンバの近傍に2系統のアンテナを設置する都合上、互いに空間的に障害とならないことが必要である。したがってたとえば、 $m=0$ モードのヘリコン波プラズマを励起させるための第1のアンテナとして、シングルループ・アンテナをプラズマ生成チャンバの天板部分に設置し、 $m=1$ モードのヘリコン波プラズマを励起させるための第2のアンテナとして、ハーフターン・アンテナをプラズマ生成チャンバの側壁部に設置すると良い。

【0017】上記CVDは、上記2系統の高周波アンテナに同時連続的に高周波電力を供給しながら行っても良いが、同時間欠的に供給しながら行うこともできる。この同時間欠印加は、パルス電源を用いて実現することができる。この電源により発生されるパルスは、その幅が $10\mu s$ (マイクロ秒)のオーダーに選択される。これは、電子温度の緩和時間が ns (ナノ秒)のオーダーであるのに対し、プラズマの寿命が数十 μs のオーダーと長いことを利用して、プラズマ密度を略一定に維持しながら電子温度のみを周期的に増減させるためである。電子温度はCVDの原料ガスの解離反応や基板表面のシース電圧を決定するパラメータであるから、上述のようなパルス放電により、高度な解離制御やイオン・エネルギーの制御が可能となる。

【0018】さらにあるいは、上記CVDを上記2系統の高周波アンテナへの電力供給を高速に切り替えながら行っても良い。この高速切り替えは、電力供給系統に高速スイッチング手段を設けることにより可能となる。この切り替えを行う場合には、 $m=0$ モード・プラズマと $m=1$ モード・プラズマとを交互に生成させることができ、両プラズマの生成比は切り替えタイミングに依存することになる。

【0019】なお、本発明において2系統の高周波アンテナへの高周波電力の同時連続印加または同時間欠印加を行う場合には、上記電力供給系統に前記第1のアンテナと第2のアンテナに供給される高周波の位相を互いに

ずらすための位相調整手段を設けておくこと一層好適である。これは、両アンテナに供給される高周波の周波数が等しい場合に共振を防止するためである。この位相調整手段としては、典型的にはリレー回路を用いることができる。また、この電力供給手段に前記第1のアンテナと第2のアンテナへ供給する高周波電力を独立に制御するための出力調整手段を含めることも優れた方策である。この出力調整手段としては、典型的には駆動アンプを用いることができる。

【0020】以上は高周波電界によるプラズマ制御であるが、本発明のヘリコン波プラズマCVD方法では、磁界によるプラズマ制御を行っても良い。ここで用いられるヘリコン波プラズマCVDの磁界生成手段としては、ソレノイド・コイル、および該ソレノイド・コイルに対する電流の供給/遮断を制御する磁界スイッチング手段を含むものを用いることができる。特に、プラズマ生成チャンバを内周側と外周側の2系統のソレノイド・コイルで周回させているヘリコン波プラズマ装置では、たとえば内周側のソレノイド・コイルがヘリコン波の伝搬、外周側のソレノイド・コイルがヘリコン波プラズマの輸送に用いられるといったように、各コイルの役割が異なっている場合がある。このような場合には、たとえば内周側ソレノイド・コイルに常時電流を印加しておき、外周側ソレノイド・コイルへの電流の供給/遮断を制御することにより、プラズマ生成チャンバから拡散チャンバへのヘリコン波プラズマの輸送を制御することもできる。これにより、基板近傍で利用できるプラズマの密度を自在に変更することが可能となる。

【0021】以上述べた方法は、本発明における最も基本的なプラズマ制御のパターンに関するものであるが、本発明の重要な用途が絶縁膜の成膜であることを考慮すると、段差被覆性と膜質(特に耐湿性)に共に優れる絶縁膜を成膜するために、成膜工程を2工程化することも有効である。すなわち、前記基板上に段差被覆性に優れる第1の薄膜を成膜する第1工程と、耐湿性に優れる第2の薄膜を成膜する第2工程とに分けてCVDを行い、両工程間で上述したプラズマ制御を使い分けることが可能である。

【0022】具体的には、両工程間で前記2系統の高周波アンテナへの電力供給比を変化させることにより、 $m=0$ モードのヘリコン波プラズマと $m=1$ モードのヘリコン波プラズマの生成比を変化させること、あるいは前記第1工程では前記磁界生成手段の制御を通じて前記拡散チャンバへのヘリコン波プラズマの輸送に寄与する磁界成分を消滅させ、前記第2工程では該磁界成分を生成させながら行うこと、さらにあるいは前記第1工程では前記2系統の高周波アンテナへの電力供給を同時間欠的にを行い、前記第2工程では該電力供給を同時連続的に行うことができる。

【0023】ここで、段差被覆性に優れる第1の薄膜と

しては、有機シリコン系化合物を含む原料ガスを用いて成膜されるシリコン化合物系薄膜が代表的である。この原料ガスの代表的なものは、 O_2 / TEOS 混合ガス、 H_2O / TEOS 混合ガスであり、これらを用いて SiO_x 系絶縁膜が成膜される。あるいは、近年の層間絶縁膜については微細化に伴う配線間容量の増大を緩和する目的で誘電率を下げる事が望まれているので、第1の薄膜としてフッ素を含有するシリコン化合物系薄膜を成膜しても良い。この膜は、たとえばフルオロカーボン系ガスと O_2 等の酸化性ガスの混合ガスを原料ガスとして成膜される $SiOF$ 系絶縁膜である。

【0024】一方、耐湿性に優れる第2の絶縁膜としては、シラン系化合物を含む原料ガスを用いて成膜されるシリコン化合物系薄膜が代表的である。具体的には、 SiH_4 (モノシラン)、 Si_2H_6 (ジシラン) 等のシラン系ガスと O_2 等の酸化性ガスをを用いて成膜される SiO_x 系絶縁膜である。

【0025】

【作用】ヘリコン波は、自由空間内では右手方向に円偏波する純粋に電磁的な波であるが、プラズマ生成チャンバのような限定空間内では特定のモードのみが励起され、静電性も備えた波となる。場の方程式の線形化から演繹すると、最初の2モードとして図1に示されるような電界パターンが存在する。ここで、(a)の図は $m=0$ モード、(b)の図は $m=1$ モードを表し、 m の値は電界増幅の表現中に登場するベッセル関数に対応する。一連のパターン中、中央に表示されているパターンが位相角 $\phi=0$ 、上端が位相角 $\phi=\pi/2$ 、下端が位相角 $\phi=-\pi/2$ にそれぞれ対応している。 $m=0$ モードでは、波は位相角 $=0$ における完全に電磁的な状態から位相角 $=\pi/2$ における完全に静電的な状態に空間的に移行する。両方の状態間では電界はらせん状であり、波は電磁的および静電的の両方の性質を持つ。一方、 $m=1$ モードは常に電磁成分と静電成分の混合であり、電場パターンは波の伝搬と共に単純に時計方向に回転する。

【0026】上述のヘリコン波プラズマの伝搬モードは、プラズマ生成チャンバの外側におけるアンテナの巻回様式で変化することが知られており、このモードによりプラズマ生成チャンバ内における飽和イオン電流密度分布も変化する。この変化の様子を図2に示す。図中、横軸はプラズマ生成チャンバの直径方向の位置 (mm) を表し、縦軸は飽和イオン電流密度 (mA/cm^2) を表す。この図からわかるように、 $m=0$ モードでは、飽和イオン電流密度はチャンバ中央近傍で落ち込みその周辺で高くなるような分布を示す。一方、 $m=1$ モードは、チャンバ中央の比較的狭い範囲でピークを持つパターンを示す。

【0027】通常のヘリコン波プラズマ装置は、 $m=0$ 、 $m=1$ のいずれか一方のモードのヘリコン波プラズマを励起するように設計されているので、いずれのモー

ドを励起した場合にもチャンバの直径方向全体にわたって均一なイオン電流密度を達成することは困難である。また、飽和イオン電流密度をCVDの途中で変更することも不可能である。しかし、本発明のヘリコン波プラズマCVD方法に用いられるヘリコン波プラズマ装置は、2系統の高周波アンテナを備えることによりこれら両方のモードのヘリコン波プラズマを単一プラズマ生成チャンバ内に励起することが可能とされているため、チャンバ内のイオン電流密度分布は両方のモードの性格を兼ね備えたものとなる。すなわち、 $m=0$ モードにおけるチャンバ中央近傍のイオン電流密度の落ち込みを、 $m=1$ モードにおけるピークで補うことが可能となり、結果としてチャンバ直径方向の広い範囲にわたってイオン電流密度を均一化することができる。

【0028】さらに、高周波電力のパルス印加を行えば電子温度の制御が可能となり、また $m=0$ 、 $m=1$ 両モードのプラズマを交互に励起させれば、イオン/ラジカル生成比の制御が可能となり、さらにまたヘリコン波プラズマの輸送に寄与する磁場を制御すればプラズマ励起とは独立に基板近傍のプラズマ密度の制御が可能となるといった具合に、所望のプラズマ処理の内容に応じてきめ細かいプラズマの制御を行うことができる。

【0029】このようなヘリコン波プラズマ装置を用いてCVDを行うと、一度にいずれか一方のモードのヘリコン波プラズマしか励起できなかった従来のヘリコン波プラズマ装置を用いた場合に比べ、大口径のウェハに対しても均一性の確保が容易となる。また、最初にTEOS等の有機シリコン系化合物を含む原料ガスをを用いて段差被覆性に優れた絶縁膜を成膜し、次に SiH_4 等の無機シリコン系化合物を含む原料ガスをを用いて耐湿性に優れた絶縁膜を成膜するといった様に、CVDを2工程化した場合にも、本発明のメリットは顕著に現れる。たとえば、有機シリコン系化合物を含む原料ガスを放電させる工程では、流動性の高い成膜前駆体を形成し、かつ膜中の残留有機成分を減少させるためにガスの解離を適度に制限する必要があるが、逆に無機シリコン系化合物を含む原料ガスを放電させる工程では十分な堆積速度を確保するためにガスの解離を促進させる必要があり、各工程で最適なプラズマ条件は異なっている。本発明の2工程化されたヘリコン波プラズマCVD方法によれば、高周波アンテナへの高周波電力の印加や磁場の印加に関する制御パラメータが多いために、このように複雑なプラズマ制御を要求するケースにも容易に対応することが可能である。

【0030】

【実施例】以下、本発明の具体的な実施例について説明する。

【0031】実施例1

本実施例では、 $m=0$ モードと $m=1$ モードのヘリコン波プラズマを励起可能なヘリコン波プラズマCVD装置

を用い、 SiH_4/O_2 ガス系にて成膜される SiO_x 層間絶縁膜でAl系配線パターンの微細な配線間スペースを埋め込んだ。

【0032】まず、本実施例で使用するヘリコン波プラズマCVD装置の概念的な構成について、図3を参照しながら説明する。この装置のプラズマ生成部は、内部にヘリコン波プラズマP₁を生成させるための誘電体材料からなるプラズマ生成チャンバ1、このプラズマ生成チャンバ1の天板2から挿通される第1のガス供給管10、該天板2に対して平行に設けられるm=0モード励起用のシングルループ・アンテナ6、同じプラズマ生成チャンバ1の側壁面を部分的に周回するm=1モード励起用のハーフターン・アンテナ7、上記ハーフターン・アンテナ7のさらに外側においてプラズマ生成チャンバ1を周回し、その軸方向に沿った磁界を生成させるソレノイド・コイル8を主な構成要素とする。上記プラズマ生成チャンバ1の構成材料は、たとえば石英とし、その直径はたとえば35cmとした。

【0033】上述の2系統の高周波アンテナの搭載は、本装置の最大の特徴であるが、これら両アンテナは共通の電力供給系統に接続されている。この電力供給系統は、通常の高周波電源13と高周波パルス電源14の2種類の電源を含んでおり、いずれか一方がスイッチ12で選択されるようになされている。すなわち、スイッチ12の端子S1を選択すれば通常の高周波電源13が、また端子S2を選択すれば高周波パルス電源14が両アンテナに接続される。上記スイッチ12とシングルループ・アンテナ6の間には、位相調整手段としてのリレー回路(R/C)63、出力調整手段としての駆動アンプ62、インピーダンス調整用のマッチング・ネットワーク(M/N)61がこの順に接続されている。また、上記スイッチ12とハーフターン・アンテナ7の間には、駆動アンプ72とマッチング・ネットワーク(M/N)71がこの順に接続されている。

【0034】本装置では、このように2つの駆動アンプ62、72を用いて上記2系統のアンテナに供給する高周波電力を独立に制御することができる。このことは、前出の図2の2本の飽和イオン電流密度分布曲線のピークの高さを独立に変更することに等しく、所望のプロセスの内容に応じて最適なイオン電流密度分布を設定可能であることを意味している。

【0035】なお、上記リレー回路63は、シングルループ・アンテナ6とハーフターン・アンテナに供給される高周波の位相を互いにずらすことを目的としているので、図示した例とは逆にハーフターン・アンテナ7側に接続されていても良い。リレー回路63による位相のずれは、たとえば $\pi/2$ に設定される。

【0036】上記ソレノイド・コイル8は2重構造とされており、主としてヘリコン波の伝搬に寄与する内周側ソレノイド・コイル8aと、主としてヘリコン波プラズ

マP₁の拡散チャンバ3への輸送に寄与する外周側ソレノイド・コイル8bとからなる。これらソレノイド・コイル8a、8bは共通のDC電源(D/C)81に接続されているが、外周側ソレノイド・コイル8bに至る電流経路にはスイッチ82が介在され、このスイッチ82のON/OFFによりヘリコン波プラズマP₁の輸送が制御されるようになされている。

【0037】上記プラズマ生成チャンバ1には拡散チャンバ3が接続され、上記ソレノイド・コイル8が形成する発散磁界に沿って該拡散チャンバ3の内部へヘリコン波プラズマP₁を引き出すようになされている。拡散チャンバ3の側壁面および底面は、ステンレス鋼等の導電性材料を用いて構成されており、その内部は、図示されない排気系統により排気孔4を通じて矢印A方向に高真空排気されている。またその天井部からは、ウェハW近傍に開口するリング状の吹き出し口を有する第2のガス供給管5が挿通されており、矢印B方向にCVDに必要なガスの供給を受け、さらにその側壁面においてゲート・バルブ17を介し、たとえば図示されないロード・ロック室に接続されている。

【0038】なお、この装置は上述のように、第1のガス供給管10と第2のガス供給管5との2系統のガス供給手段を備えている。これは、ヘリコン波プラズマを生成させるためのガスの解離と、実際の堆積物を供給するためのガスの解離を互いにできるだけ離間させるためであり、これにより堆積物の効率良く生成させながら、プラズマ生成チャンバ1内部のパーティクル汚染の低減が図られている。

【0039】さらに、上記拡散チャンバ3の外側には、上記ウェハ・ステージ9近傍における発散磁界を収束させ、またチャンバ壁によるプラズマ中の電子や活性種の消滅を抑制するために、補助磁界生成手段としてマルチポール磁石11が配設されている。このマルチポール磁石11は、拡散チャンバ3内にマルチカスプ磁場を生成させてプラズマ閉じ込めを行うものである。なお、このマルチポール磁石11の配設位置は、図示される例に限られず、たとえばウェハ・ステージ9の支柱の周囲等の他の場所であっても良い。さらにあるいは、これをソレノイド・コイルに置き換え、ミラー磁場の形成によってプラズマ閉じ込めを行うようにしても良い。

【0040】上記拡散チャンバ3の内部には、その壁面から電気的に絶縁された導電性のウェハ・ステージ9が収容され、この上に被処理基板としてたとえばウェハWを保持して所定のプラズマ処理(ここではCVD)を行うようになされている。このウェハ・ステージ9には、プラズマ中から入射するイオンのエネルギーを制御するためにウェハWに基板バイアスを印加するバイアス印加用高周波電源16が、第2のマッチング・ネットワーク(M/N)15を介して接続されている。ここでは、バイアス印加用高周波電源16の周波数を13.56MH

zとした。

【0041】次に、上記の装置を用い、実際にSiO_x層間絶縁膜のCVDを行った。本実施例で用いたサンプル・ウェハを図5に示す。このウェハにおいては、Si基板20上にたとえばSiO_xからなる下地絶縁膜21が積層され、さらにこの上にA1系配線パターン24が部分的に不規則な間隔をもって形成されている。上記A1系配線パターン24は、たとえばTi/TiNの積層膜よりなるバリヤメタル22上にAl-1%Si膜23が積層された多層膜をパターンングして形成されたものである。このパターンングは、具体的にはたとえばハーフトーン型位相シフト・マスクと化学増幅系レジスト材料を用いたKrFエキシマレーザ・リソグラフィを行*

| | | |
|---------------------------------|------|---------------|
| O ₂ 流量 (第1のガス供給管10) | 50 | SCCM |
| SiH ₄ 流量 (第2のガス供給管5) | 50 | SCCM |
| ガス圧 | 0.13 | Pa |
| シングルループ・アンテナ供給電力 | 2500 | W (13.56 MHz) |
| ハーフトーン・アンテナ供給電力 | 2500 | W (13.56 MHz) |
| 高周波バイアス電力 | 100 | W (13.56 MHz) |

このCVDにより、図6に示されるように、不均一な配線間スペースもSiO_x層間絶縁膜25で良好に埋め込むことができた。このときの膜厚均一性は、8インチ径のウェハについて±2%と、極めて優れていた。

【0044】この後、公知のCMP法により上記SiO_x層間絶縁膜25の表面を研磨し、図7に示されるように平坦化されたSiO_x層間絶縁膜25p (添字pは研磨された膜であることを表す。)を得た。

【0045】実施例2

本実施例では、実施例1で上述したヘリコン波プラズマCVD装置を用い、まず第1工程で高周波パルス電源14を接続してm=0モード・プラズマとm=1モード・プラズマとを同時欠生成させ、かつヘリコン波プラズマの輸送を抑制しながら段差被覆性に優れる第1のSi※

[第1工程]

| | | |
|---------------------------------|------|---------------|
| O ₂ 流量 (第1のガス供給管10) | 50 | SCCM |
| TEOS 流量 (第2のガス供給管5) | 20 | SCCM |
| H ₂ O 流量 (第2のガス供給管5) | 50 | SCCM |
| ガス圧 | 0.13 | Pa |
| シングルループ・アンテナ供給電力 | 2000 | W (13.56 MHz) |
| ハーフトーン・アンテナ供給電力 | 1000 | W (13.56 MHz) |
| 高周波スイッチング周期 | 30 | μs |
| 高周波バイアス電力 | 100 | W (13.56 MHz) |

上記第1工程では、高周波アンテナへの電力供給を間欠的としたこと、アンテナへの供給電力の絶対値を低く抑えたこと、ヘリコン波プラズマの拡散チャンバ3側への輸送を抑制したこと等の要因により、プラズマ密度が10¹⁰/cm³ 台に抑えられ、この結果TEOSの解離が適度に抑制されてウェハ表面に流動性の高い成膜前駆体が形成された。さらに、高周波バイアス電力の印加によるイオン・スパッタ作用が働くことにより、図8に示さ

*い、これにより形成されたレジスト・パターンをマスクとして異方性ドライエッチングを行うことで実現される。上記A1系配線パターン24および配線間スペースの最小値は0.25μmである。また、配線間スペースの最大アスペクト比は約2である。

【0042】このウェハを上記ウェハ・ステージ9上にセットし、スイッチ12の端子S1を選択して2系統の高周波アンテナに通常の高周波電源13を共通に接続する一方、スイッチ82をONとしてヘリコン波プラズマP₁の輸送は常に行われる状態とした。ここで、一例として下記の条件でSiO_x層間絶縁膜を成膜した。

【0043】

20※O_x層間絶縁膜を成膜した後、第2工程で通常の高周波電源13を用いて両プラズマを同時連続生成させ、かつプラズマ輸送も通常どおり行いながら耐湿性に優れる第2のSiO_x層間絶縁膜を成膜した。

【0046】すなわち、まず第1のSiO_x層間絶縁膜の成膜工程では、前出の図5に示したサンプル・ウェハを実施例1で述べたヘリコン波プラズマ装置にセットし、スイッチ12の端子S2を選択してシングルループ・アンテナ6とハーフトーン・アンテナ7に高周波パルス電源14を接続した。また、外周側ソレノイド・コイルに接続されるスイッチ82はOFFとし、拡散チャンバ3へのヘリコン波プラズマP₁の輸送を抑制した状態とした。この第1工程のCVD条件の一例を以下に示す。

【0047】

れるように段差被覆性に優れた第1のSiO_x層間絶縁膜25を形成することができた。

【0048】次の第2工程では、スイッチ12の端子S1を選択して両アンテナへ通常の高周波電源13を接続することにより高周波電力の連続印加を可能とすると共に、スイッチ82をONとして拡散チャンバ3へのヘリコン波プラズマP₁の輸送を可能な状態として第2のSiO_x層間絶縁膜を成膜した。第2工程のCVD条件の

一例を以下に示す。

* * [0049]

[第2工程]

| | | |
|---------------------------------|------|---------------|
| O ₂ 流量 (第1のガス供給管10) | 50 | SCCM |
| SiH ₄ 流量 (第2のガス供給管5) | 20 | SCCM |
| ガス圧 | 0.13 | Pa |
| シングルループ・アンテナ供給電力 | 2500 | W (13.56 MHz) |
| ハーフターン・アンテナ供給電力 | 2500 | W (13.56 MHz) |
| 高周波バイアス電力 | 100 | W (13.56 MHz) |

上記第2工程では、耐湿性劣化の原因となる反応生成物が副生しないため、図8に示されるように緻密で耐湿性に優れる第2のSiO_x層間絶縁膜27を形成することができた。

【0050】一般に、TEOS等の有機シリコン系化合物ガスを用いて形成されたSiO_x膜は、平坦化特性や埋め込み特性に優れる反面、膜質に問題があると言われている。すなわち、この方法で成膜されるSiO_x膜中には、CVD反応の副生成物として発生する水分や未反応のSi-OH基が成膜条件によっては大量に取り込まれるが、このようなSiO_x膜を半導体デバイスの層間絶縁膜として利用すると、導通不良（ボイズンドビア）、Al系配線膜へのヒロックやボイドの発生、MOS-FETの閾値の変動やホットキャリア耐性の劣化等、様々な不良が発生し易いことが知られている。

【0051】本実施例では、層間絶縁膜を2層化することで上述のような問題を解決しているが、TEOSの解※

[第1工程]

| | | |
|---|------|---------------|
| C ₂ F ₆ 流量 (第1のガス供給管10) | 20 | SCCM |
| O ₂ 流量 (第1のガス供給管10) | 50 | SCCM |
| TEOS 流量 (第2のガス供給管5) | 20 | SCCM |
| H ₂ O 流量 (第2のガス供給管5) | 50 | SCCM |
| ガス圧 | 0.13 | Pa |
| シングルループ・アンテナ供給電力 | 2000 | W (13.56 MHz) |
| ハーフターン・アンテナ供給電力 | 1000 | W (13.56 MHz) |
| 高周波スイッチング周期 | 30 | μs |
| 高周波バイアス電力 | 100 | W (13.56 MHz) |

この第1工程では、ウェハ表面に流動性の高い成膜前駆体が形成され、図8に示されるようなSiOF膜28が形成された。このSiOF膜28は、C₂F₆から解離生成したFを膜中に取り込むことにより、上述の第1のSiO_x層間絶縁膜25に比べて低誘電率化が図られている。

【0055】ただし、このような低誘電率絶縁膜は一般に耐湿性に劣るので、続いて実施例2で上述した第2工程を実施し、図8に示されるような緻密で膜質に優れる第2のSiO_x層間絶縁膜26を成膜した。もちろん、この後のCMPや第3のSiO_x層間絶縁膜27も同様に行い、図9に示されるように基体表面を完全に平坦化すると共に耐湿性を向上させても良い。

【0056】実施例4

これまでの実施例はすべて、2系統の高周波アンテナへ

※離制御により第1のSiO_x層間絶縁膜25そのものの膜質も改善することができ、極めて信頼性の高い層間絶縁膜を得ることができた。

【0052】この後、公知のCMP法により、図9に示されるように基体の全面に平坦な第1のSiO_x層間絶縁膜25pが現れる状態まで研磨を行った。さらに、上記第2工程と同じ条件で改めて第3のSiO_x層間絶縁膜27を形成し、最終的に段差被覆性、平坦性、耐湿性のいずれにも優れる層間絶縁膜が得られた。

【0053】実施例3

本実施例では、実施例2と類似するが、第1のSiO_x層間絶縁膜25に代えて誘電率の低いSiOF膜を成膜するプロセスについて説明する。第1工程ではm=0モード・プラズマとm=1モード・プラズマの同時欠生成と、ヘリコン波プラズマの輸送抑制を行った。この第1工程のCVD条件の一例を以下に示す。

【0054】

の高周波電力の同時供給を行うことによりm=0モードとm=1モードのヘリコン波プラズマを同時に励起しながら行うCVD方法であったが、本実施例ではシングルループ・アンテナ6とハーフターン・アンテナ7への電力供給を高速に切り替えながら、すなわち両モードのヘリコン波プラズマを高速に切り替えながら行うCVD方法について説明する。

【0057】まず、本実施例で用いられるヘリコン波プラズマCVD装置について、図4を参照しながら説明する。この装置は前出の図3に示した装置とは異なり、シングルループ・アンテナ6への電力供給系統に位相調整用のリレー回路63が接続されておらず、そのかわり、通常の高周波電源13の後段に高速スイッチング回路18が接続されている。この高速スイッチング回路18は数〜数十μsのオーダーの周期でスイッチングを行うこ

とが可能であり、プラズマ励起は継続させながらそのモードを $m=0$ と $m=1$ との間で切り替え、これによりチャンバ径方向のイオン電流密度分布を均一化することができる。

*

| | | |
|---------------------------------|------|---------------|
| O ₂ 流量 (第1のガス供給管10) | 50 | SCCM |
| TEOS 流量 (第2のガス供給管5) | 20 | SCCM |
| H ₂ O 流量 (第2のガス供給管5) | 50 | SCCM |
| ガス圧 | 0.13 | Pa |
| シングルループ・アンテナ供給電力 | 2500 | W (13.56 MHz) |
| ハーフトーン・アンテナ供給電力 | 2500 | W (13.56 MHz) |
| 高周波スイッチング周期 | 15 | μs |
| 高周波バイアス電力 | 100 | W (13.56 MHz) |

本実施例では、 $m=0$ モードと $m=1$ モードのヘリコン波プラズマを高速に切り替えてTEOSの解離状態を最適に制御することにより、段差被覆性に優れかつ良好な膜質のSiO_x層間絶縁膜25を形成することができた。

【0060】なお、本実施例では外周側ソレノイド・コイル8bにスイッチ82を接続してそのON/OFF制御を行うことにより、ヘリコン波プラズマの輸送を制御したが、スイッチを内周側ソレノイド・コイル8aに接続すれば、ヘリコン波プラズマそのものの生成/消滅を制御することができる。ただしこの場合、2系統の高周波アンテナの少なくとも一方に高周波電力が供給されていれば高周波電界は存在するため、プラズマ生成チャンバ内には誘導結合プラズマが生成することになる。つまり、誘導結合プラズマとヘリコン波プラズマの生成を交互に切り替えるプラズマ制御が実現する。誘導結合プラズマは一般にラジカルに富み、ヘリコン波プラズマは一般にイオンに富むプラズマであるから、両プラズマの交互励起によりラジカル/イオン生成比をきめ細かく制御することが可能となる。この制御の最適化により、必要な堆積種の効率良い生成とイオンによる適正な平坦化とのバランスを最適化することも可能である。

【0061】以上、本発明を4例の実施例にもとづいて説明したが、本発明はこれらの実施例に何ら限定されるものではなく、サンプル・ウェハの構成、ヘリコン波プラズマ装置の構成の細部、CVD条件は適宜変更、最適化が可能である。

【0062】

【発明の効果】以上の説明からも明らかなように、本発明を適用すれば、チャンバ径方向のプラズマ密度分布や原料ガスの解離状態の微調整が可能なヘリコン波プラズマ装置を用いてCVDを行うので、CVDの内容に合わせて堆積条件をきめ細かく最適化しながら面内均一性と膜質に優れる絶縁膜を成膜することができる。したがって本発明は、半導体装置の高集積化、高性能化、高信頼化に大きく貢献するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 $m=0$ モードと $m=1$ モードのヘリコン波プラ

*【0058】このヘリコン波プラズマ装置に前出の図5に示したサンプル・ウェハをセットし、一例として下記の条件でSiO_x層間絶縁膜25を成膜した。

【0059】

| | |
|------|---------------|
| 50 | SCCM |
| 20 | SCCM |
| 50 | SCCM |
| 0.13 | Pa |
| 2500 | W (13.56 MHz) |
| 2500 | W (13.56 MHz) |
| 15 | μs |
| 100 | W (13.56 MHz) |

ズマの電界パターンを示す模式図である。

【図2】 $m=0$ モードと $m=1$ モードのヘリコン波プラズマの飽和イオン電流密度分布を示すグラフである。

【図3】 $m=0$ モードと $m=1$ モードのヘリコン波プラズマの同時連続/間欠励起およびヘリコン波プラズマの輸送制御が可能なヘリコン波プラズマCVD装置の一構成例を示す模式的断面図である。

20 【図4】 $m=0$ モードと $m=1$ モードのヘリコン波プラズマの交互励起が可能なヘリコン波プラズマCVD装置の一構成例を示す模式的断面図である。

【図5】本発明を適用したSiO_x層間絶縁膜のCVDにおいて、下地絶縁膜上にAl系配線パターンが形成された状態を示す模式的断面図である。

【図6】図5の配線間スペースが第1のSiO_x層間絶縁膜で良好に埋め込まれた状態を示す模式的断面図である。

30 【図7】CMPを行って第1のSiO_x層間絶縁膜の表面を平坦に研磨した状態を示す模式的断面図である。

【図8】第1のSiO_x層間絶縁膜またはSiOF膜の上に第2のSiO_x層間絶縁膜を積層した状態を示す模式的断面図である。

【図9】CMPを行って図8の第1のSiO_x層間絶縁膜またはSiOF膜を平坦に研磨し、その上に第3のSiO_x層間絶縁膜を積層した状態を示す模式的断面図である。

【符号の説明】

- 1 プラズマ生成チャンバ
- 3 拡散チャンバ
- 5 第2のガス供給管
- 6 シングルループ・アンテナ
- 7 ハーフトーン・アンテナ
- 8 ソレノイド・コイル
- 8a 内周側ソレノイド・コイル
- 8b 外周側ソレノイド・コイル
- 9 ウェハ・ステージ
- 10 第1のガス供給管
- 12 スイッチ
- 13 高周波電源

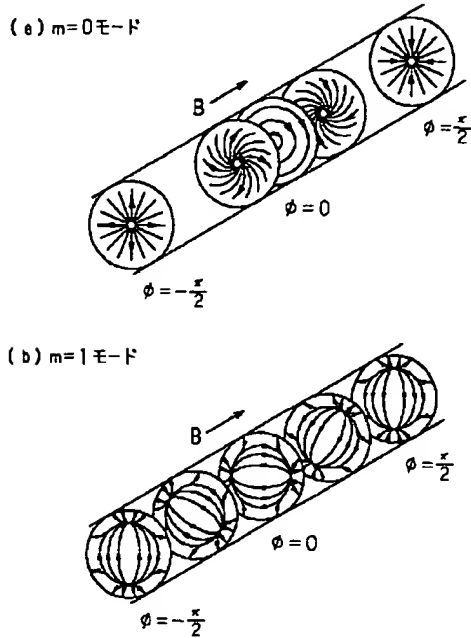
40

50

- 14 パルス電源
15, 61, 71 マッチング・ネットワーク
16 バイアス印加用高周波電源
18 高速スイッチング回路
62, 72 駆動アンプ
63 リレー回路
81 DC電源

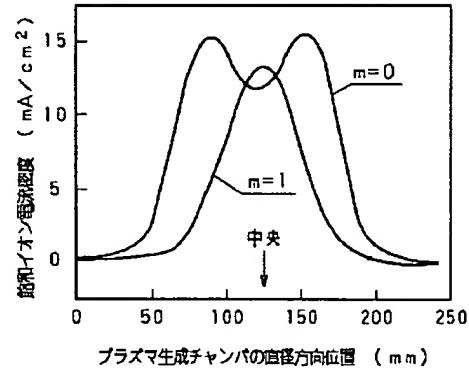
- 82 スイッチ
21 下地絶縁膜
24 Al系配線パターン
25 第1のSiO_x層間絶縁膜
26 第2のSiO_x層間絶縁膜
27 第3のSiO_x層間絶縁膜
28 SiOF膜

【図1】

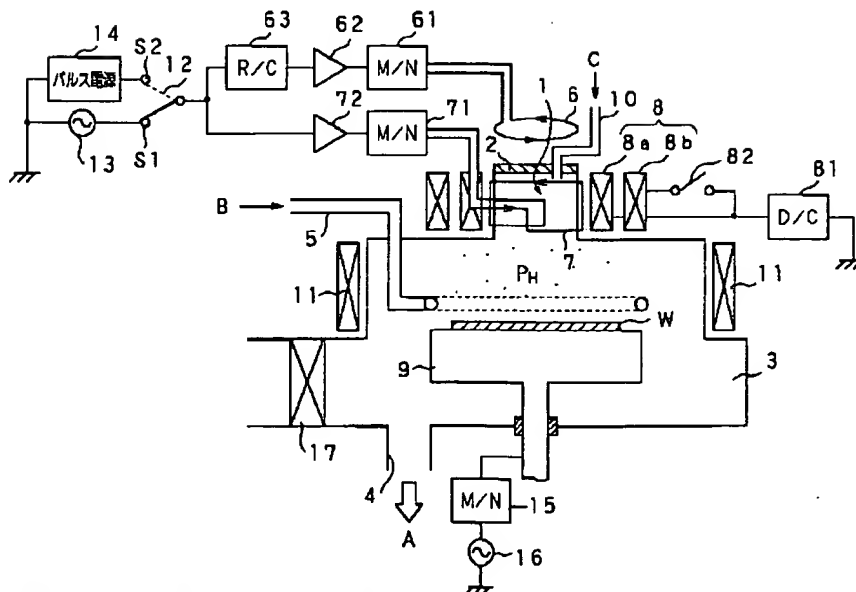


ヘリコン波プラズマの電界パターン

【図2】

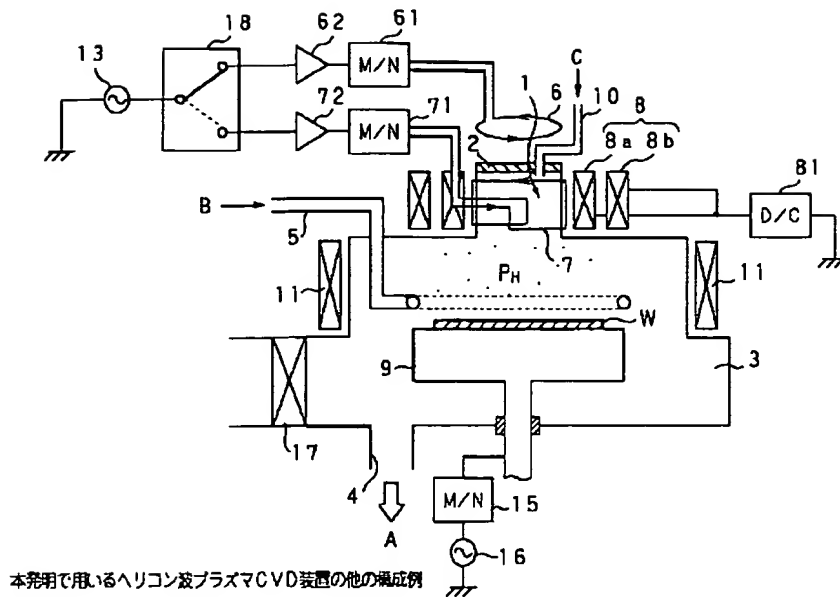
 $m=0$ と $m=1$ モードヘリコン波プラズマの飽和イオン電流密度分布の比較

【図3】

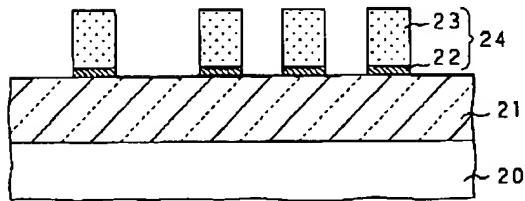


本発明で用いるヘリコン波プラズマCVD装置の一構成例

【図4】

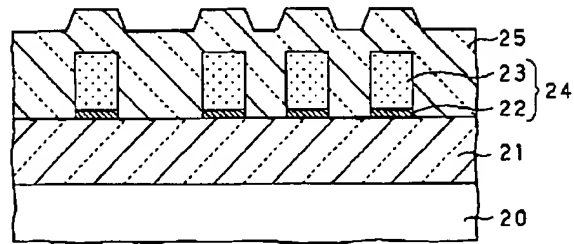


【図5】

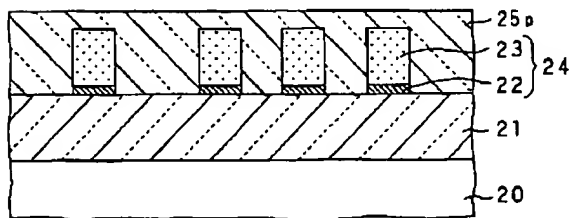


A系配線パターンの形成

【図6】

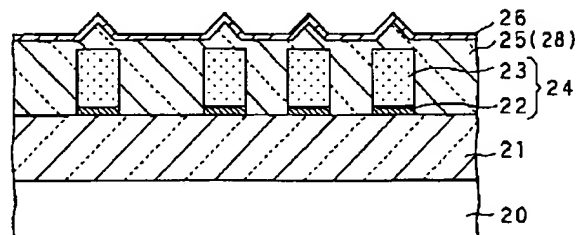
第1のS i O_x層間絶縁膜による配線間スペースの埋め込み

【図7】

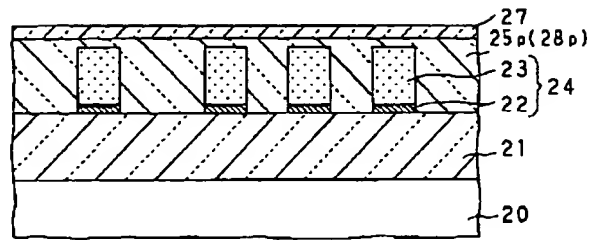


CMPによる平坦化

【図8】

第1のS i O_x層間絶縁膜（またはS i O₂膜）と
第2のS i O_x層間絶縁膜の成膜

【図9】

CMPによる平坦化および第3のSiO₂層絶縁膜の成膜